doi:10.13866/j.azr.2020.01.16

新疆民丰县农田土壤微量营养元素含量及分布①

顾思博[1,2]， 周金龙[1,2]， 曾妍妍[1,2]， 陈云飞[1,2]， 王松涛[3]， 杜江岩[3]

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆水文水资源工程技术研究中心,新疆 乌鲁木齐 830052;
3. 新疆地矿局第二水文地质工程地质大队,新疆 昌吉 831100)

摘 要: 基于新疆民丰县85组农田表层土壤样品中的6种微量营养元素(Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo)的实测含量,运用地统计学方法对研究区土壤中微量营养元素的含量及空间分布进行分析。结果表明:Cu、Fe、Mn元素的块金系数在25%~75%,为中等程度的空间自相关性,空间变异同时受到自然因素和人为因素的影响;土壤B、Zn、Mo元素的块金系数小于25%,具有强烈程度的空间自相关性,空间变异受到影响的因素主要有成土母质、气候等自然条件。Fe、B、Zn元素的平均含量处于较缺乏水平,Mn、Cu元素的平均含量处于中等水平,Mo元素的平均含量处于较丰富水平。研究区土壤中6种微量元素之间存在一定程度的相关性。土壤有机质和pH对土壤微量营养元素含量均有不同程度的影响。

关键词: 农田土壤; 微量营养元素; 地统计学; 民丰县; 新疆

土壤中植物生长所必需的微量营养元素主要有硼(B)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、钼(Mo)等,其过量或缺乏都会对植物的生长发育有一定程度的影响。微量元素含量水平高于正常值时,会使土壤受到重金属污染,在自然条件背景下的土壤环境质量趋于下降;微量元素含量水平低于正常值时,作物的正常生长发育、产量和品质会受到严重影响,损害人体健康[1-2]。铁元素是植物生长所必需的微量元素,参与植物光合作用与叶绿素的合成;缺铁会使植物叶绿素合成的进程受到阻碍,进而营养元素分配不均衡,最终导致作物营养不良,优质高产水平受到局限[3-4]。钼元素对植物来讲,尽管需求量较低,但它在植物体内却发挥着重要作用[5];钼不仅能增强硝酸还原酶的活性,还参与植物体内呼吸作用,促进有机含磷化合物的合成[6]。研究表明,在农田土壤中微量营养元素的含量普遍较低,影响其含量水平的主要因素有成土母质、气候、植被等,影响其有效性的主要因素有土壤酸碱度、土壤质地、氧化还原电位等[7]。土壤对植物的矿质营养供给程度可通过土壤微量营养元素的含量水平来呈现,与植物的生长发育息息相关[8],判别土壤养分丰沃或枯竭,并在相应的情况下采取一定的补给措施,对植物生长发育有利无害。因此,分析土壤中植物微量元素的含量水平对促进农业发展具有重要的指导意义。

新疆民丰县共有耕地面积6 380 hm^2,人均耕地面积约为0.107 hm^2。民丰县的种植结构以农为主、农牧结合,是塔里木盆地南缘深化改革的国家扶贫开发工作重点县。作为具有代表性的沙漠绿洲,在国家提出"到2020年化肥使用量零增长"目标的背景下[9],研究民丰县土壤中植物所必需的微量营养元素、分析土壤中微量营养元素的含量和空间分布对于调整和更新化肥投入结构,实现农产品提质增效意义重大。鉴于研究新疆民丰县农田土壤微量营养元素含量的资料总体相对较少,且缺乏代表性,故此,在新疆地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队和新疆农业大学于2016—2018年联合在新疆和田-若羌绿洲带展开的1:250 000土地质量地球化学调查成果的基础上,依据《DZ/T 0295-2016 土地质量地球化学评价规范》,以民丰县农田土壤6种微量营养元素为研究对象,分析其含量及分布,为提升当地土壤肥力、科学施用化肥提供强有

① **收稿日期:** 2019-03-29; **修订日期:** 2019-05-15
基金项目: 中国地质调查局中央返还两权款资金项目(S15-1-LQ)
作者简介: 顾思博(1993-),女,硕士研究生,主要从事土壤环境地球化学的学习与研究. E-mail:1056282594@qq.com
通讯作者: 周金龙. E-mail:zjzhoujl@163.com

力的科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

民丰县属于新疆和田地区,位于昆仑山北麓,塔里木盆地南缘。地处 82°22′~85°55′E,35°20′~39°29′N。东临且末县、西接于田县、南与西藏邻接,北与沙雅县毗邻,南北长 451 km,东西宽 130 km。山区和北部平原区界线分明。总面积 5.67×10^4 km^2,南部山地和北部沙漠总面积约占全县的 85%,平原区面积约占 15%。研究区面积约为 85.8 km^2,约占平原区面积的 0.9%。研究区属温带荒漠气候,年平均蒸发量为 2 756 mm,年平均降水量为 30.5mm,年平均气温为 11.1 ℃,多年平均无霜期为 194 d[10]。研究区土壤类型以灌淤土、棕漠土、风沙土等为主;农作物以红枣、核桃、小麦等为主;植被以胡杨林、红柳、苜蓿、芦苇等为主;野生药材以肉苁蓉、罗布麻、黄芪等为主。

1.2 土样采集与测试

农田土壤样品取样时间于 2016 年 7—9 月。共采集表层土壤样品 85 组,依照网格布点的方法,样品采集深度为 0~20 cm,样品采集密度按 1 个·km^{-2}布设(图 1)。

土壤样品中微量营养元素全量检测由国土资源部乌鲁木齐矿产资源监督检测中心完成。检测项目为铁(Fe)、硼(B)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、钼(Mo)共 6 项。测试项目及其测试方法、检出下限[11-12]见表 1。

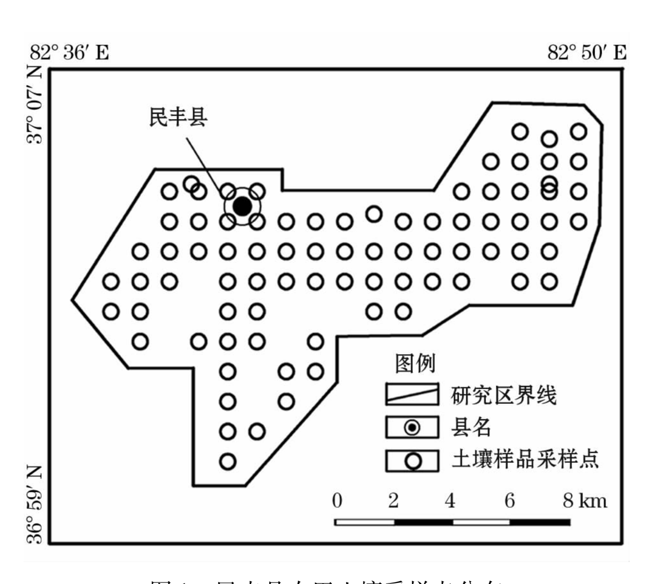


图 1 民丰县农田土壤采样点分布

Fig. 1 The distribution of soil sampling sites in farmland in Minfeng County

表 1 测试方法及检出下限

Tab. 1 Test methods and detection lower limit

指标	检测方法	检出限/(mg·kg^{-1})
Cu	电感耦合等离子发射光谱仪法	0.952
Zn		0.646
B		0.902
Mo	电感耦合等离子体质谱法	0.012
Mn	X 射线荧光光谱分析法	3.254
Fe		4.000

1.3 数据处理

数据经筛选、计算后,利用 SPSS 19.0 软件对数据进行元素含量描述统计分析和相关性分析,应用 SURFER 建立微量营养元素含量的空间分布图,应用 MapGIS 6.7 软件绘制采样点分布图。

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

民丰县农田土壤中微量营养元素的描述性统计分析结果(表 2)表明,Mn、Zn 元素的均值较大,平均值分别为 567.93 mg·kg^{-1}、57.82 mg·kg^{-1},变幅分别为 459.00~814.00 mg·kg^{-1}、41.00~93.20 mg·kg^{-1};Cu、Fe、B 元素的均值次之,平均值分别为 21.07 mg·kg^{-1}、26.75 mg·kg^{-1}、43.12 mg·kg^{-1},变幅分别为 15.50~40.10 mg·kg^{-1}、19.67~43.26 mg·kg^{-1}、31.40~86.60 mg·kg^{-1}。6 种微量营养元素均值、变幅差异较大。依照最新《GB 15618-2018 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》中的风险筛选值与风险管制值的限值(pH>7.5)标准可知,Cu、Zn 元素含量均未超过风险筛选值。

变异系数的大小是衡量离散程度的标准,当变异系数<10%、10%~100% 和>100% 时分别属于弱变异性、中等变异性和强变异性[13]。6 种微量营养元素的变异系数为 8.51%~16.18%;Mn 元素含量的变异系数为 8.51%,为弱变异性;其余微量营养元素含量均属于中等变异程度。

2.2 微量元素含量丰缺评价

依据《土地质量地球化学评价规范(DZ/T0295-2016)》中全国第二次土壤普查养分分级标

表 2 民丰县农田土壤微量营养元素含量描述性统计($n=85$)

Tab. 2 Descriptive statistics of trace elements in farmland soil in Minfeng County

元素	最大值/(mg·kg⁻¹)	最小值/(mg·kg⁻¹)	均值/(mg·kg⁻¹)	标准差/(mg·kg⁻¹)	变异系数/%	偏度	峰度
Fe	43.26	19.67	26.75	3.17	11.85	1.74	8.51
B	86.60	31.40	43.12	6.69	15.51	3.30	20.03
Mn	814.00	459.00	567.93	48.31	8.51	1.53	7.63
Cu	40.10	15.50	21.07	3.41	16.18	2.21	10.64
Zn	93.20	41.00	57.82	8.43	14.58	0.95	2.95
Mo	1.20	0.56	0.78	0.10	12.82	1.36	3.68

表 3 土壤养分指标等级划分标准

Tab. 3 Classification standard of soil nutrient indexes

/(mg·kg⁻¹)

项目	丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏	项目	丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏
Fe	>37	32~37	29~32	24~29	≤24	Cu	>29	24~29	21~24	16~21	≤16
B	>65	55~65	45~55	30~45	≤30	Zn	>84	71~84	62~71	50~62	≤50
Mn	>700	600~700	500~600	375~500	≤375	Mo	>0.85	0.65~0.85	0.55~0.65	0.45~0.55	≤0.45

准[14](表3),可以看出,Fe 含量均值处于较缺乏水平(24~29 mg·kg⁻¹),B 含量均值处于较缺乏水平(30~45 mg·kg⁻¹),Mn 含量均值处于中等水平(500~600 mg·kg⁻¹),Cu 含量均值处于中等水平(21~24 mg·kg⁻¹),Zn 含量均值处于较缺乏水平(50~62 mg·kg⁻¹),Mo 含量均值处于较丰富水平(0.65~0.85 mg·kg⁻¹)。偏度系数表示数据的偏斜程度,峰度系数表示数据的陡峭程度,其数值越近似于0,越近似服从正态分布[15]。农田土壤中微量元素含量频率分布图(图2)表明,各微量营养元素的偏度和峰度均大于0,其频率分布均为偏态分布。其中,B 元素的偏度最大(3.30),其次是 Cu 元素(2.21),都属于右偏态尖峰形。Zn 元素的偏幅较小,且峰度较低。农田土壤受温度、湿度、耕作和灌

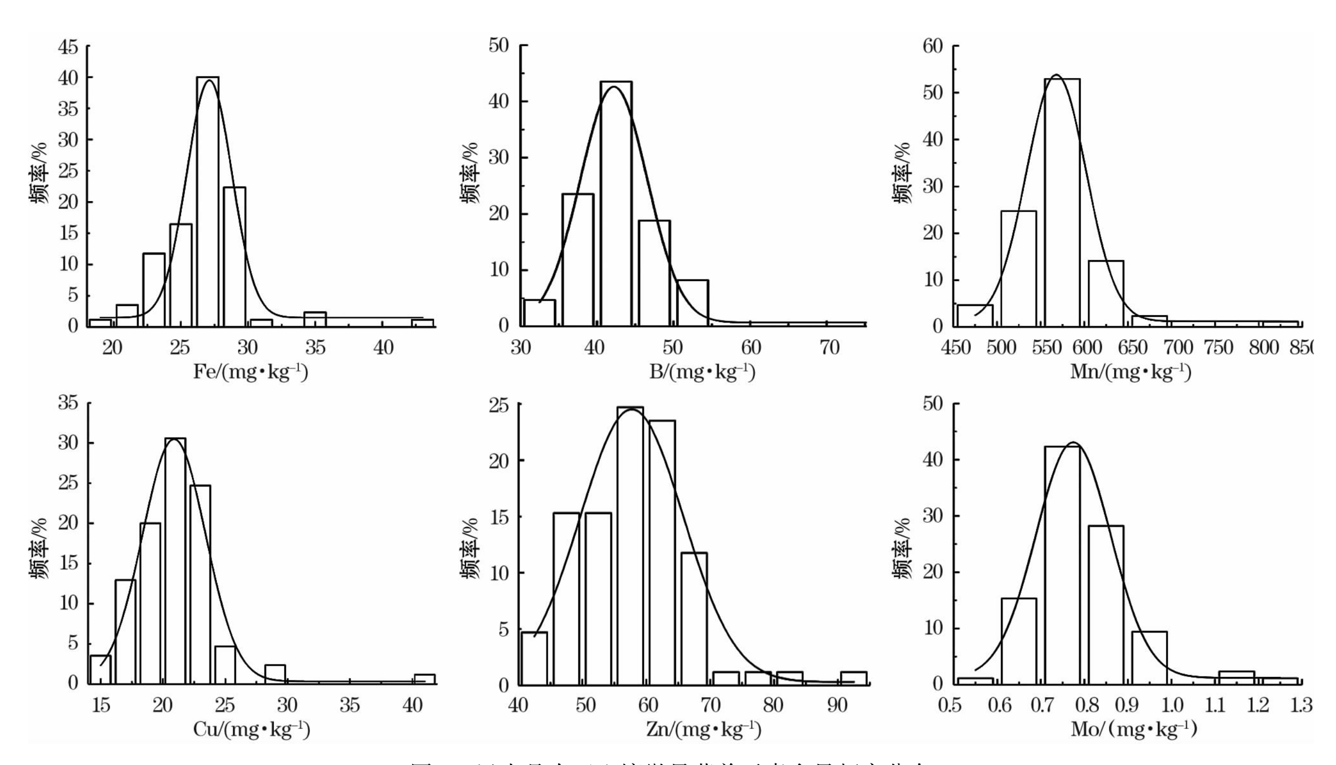


图 2 民丰县农田土壤微量营养元素含量频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of trace elements in farmland soil in Minfeng County

表 4　民丰县农田土壤微量营养元素半方差函数理论模型与参数

Tab. 4　Theoretical models and parameters of semi – variance function for trace elements in farmland soil in Minfeng County

元素	理论模型	块金值(C_0)	基台值($C+C_0$)	块金系数 $C_0/(C+C_0)$ /%	决定系数(R^2)	残差(RSS)	变程/km
Fe	球状模型	0.121	0.201	60.20	0.869	0.036	6.206
B	球状模型	11.71	54.397	21.53	0.584	498.000	11.410
Mn	高斯模型	533.011	992.507	53.70	0.792	1.60×10^7	8.054
Cu	指数模型	3.301	12.030	27.44	0.646	30.300	10.260
Zn	指数模型	15.107	72.127	20.95	0.595	321.000	8.640
Mo	高斯模型	0.009	0.011	11.11	0.216	1.25×10^{-5}	11.915

溉等自然与人为因素影响[16],微量营养元素整体变异较为明显,且分布不均匀。

2.3　空间变异结构特征

采用地统计学中的半变异函数理论模型分析民丰县 85 组农田土壤中 6 种微量营养元素的空间变异结构特征。研究区农田土壤微量营养元素半方差函数理论模型与相关参数见表 4。结果表明,在最优模型中,符合球状模型的有 Fe、B 元素,符合高斯模型的有 Mn、Mo 元素,符合指数模型的有 Cu、Zn 元素。各微量营养元素的块金系数在 11.11% ~60.20%,其中土壤 Fe、Mn、Cu 元素的块金系数在 25% ~75%,具有中等程度的空间自相关性,空间变异同时受自然因素与人类活动的影响;土壤 B、Zn、Mo 元素的块金系数小于 25%,具有强烈的空间自相关性,空间变异受到影响的因素主要有成土母质、气候等。不同微量营养元素之间的变程相差较大,介于 6.206 ~11.915 km 之间,表明在此范围内,土壤微量营养元素存在空间自相关性[17]。

2.4　空间分布特征

根据所得半方差函数理论模型和参数,采用克里金插值法绘制各微量营养元素的空间分布图(图 3)。整体来看,土壤微量营养元素含量的空间分布表现为较明显的片状和斑块状格局。土壤 Fe、Mn 的空间分布结构较为相似,西南地区含量普遍较高,东南地区含量较低,最低值出现在东部。土壤 Zn 的空间分布较为连续,高值区与 Cu 的分布非常相似,最低值分布在东南部小片区域。土壤 B 的空间变异特征显著,分布比较零散,微量营养元素含量从南到北逐渐升高,主要集中在北部的大片区域,中部高值和低值零散分布,微量营养元素含量低的区域主要集中在东南部。土壤 Mo、Cu 的低值区大体分布于中部和东南部。

2.5　空间分布的影响因素

研究农田土壤 pH、有机质等土壤理化性质与微量营养元素的相关性有助于分析微量营养元素含量以及分布的差异性,探寻影响微量营养元素含量分布的因素。表 5 是土壤微量营养元素含量与土壤理化性质的相关性分析结果。

土壤样品微量营养元素的相关矩阵揭示了民丰县农田土壤 pH、有机质与微量营养元素之间相关性。土壤 pH 与 Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo 等 6 种微量营养元素之间均呈负相关。Cu、Fe 的相关性与 Cu、Mn 的相关性相近,Mo、Fe 的相关性与 Mo、Mn 的相关性相近,且 Cu、Fe、Mn 的相关性略高于 Mo、Fe、Mn 的相关性。6 种微量营养元素中,Mn、Fe 的相关性最强。Fe、Mn、Cu、Zn、Mo 等 5 种元素都是过渡元素,有着相似的地球化学性质,在地质作用过程中有着相同的迁移和富集规律。3 种元素两两之间呈显著正相关,可能是因为元素性质相似[18]。研究区土壤 6 种微量营养元素之间存在一定程度的相关性,含量水平呈现相同的变化趋势。土壤有机质与 Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo 等 6 种微量营养元素之间均呈显著正相关。

3　讨 论

土壤中微量营养元素的含量、形态分布和迁移转化不但与土壤理化性质(pH、土壤有机质、水分等)、成土母质、土壤质地、成土过程以及气候等有关,还与土地利用方式、肥料施用和耕作制度等因素紧密相连[19]。其中,成土母质可以直接影响土壤的矿物组成和土壤颗粒组成,对土壤微量营

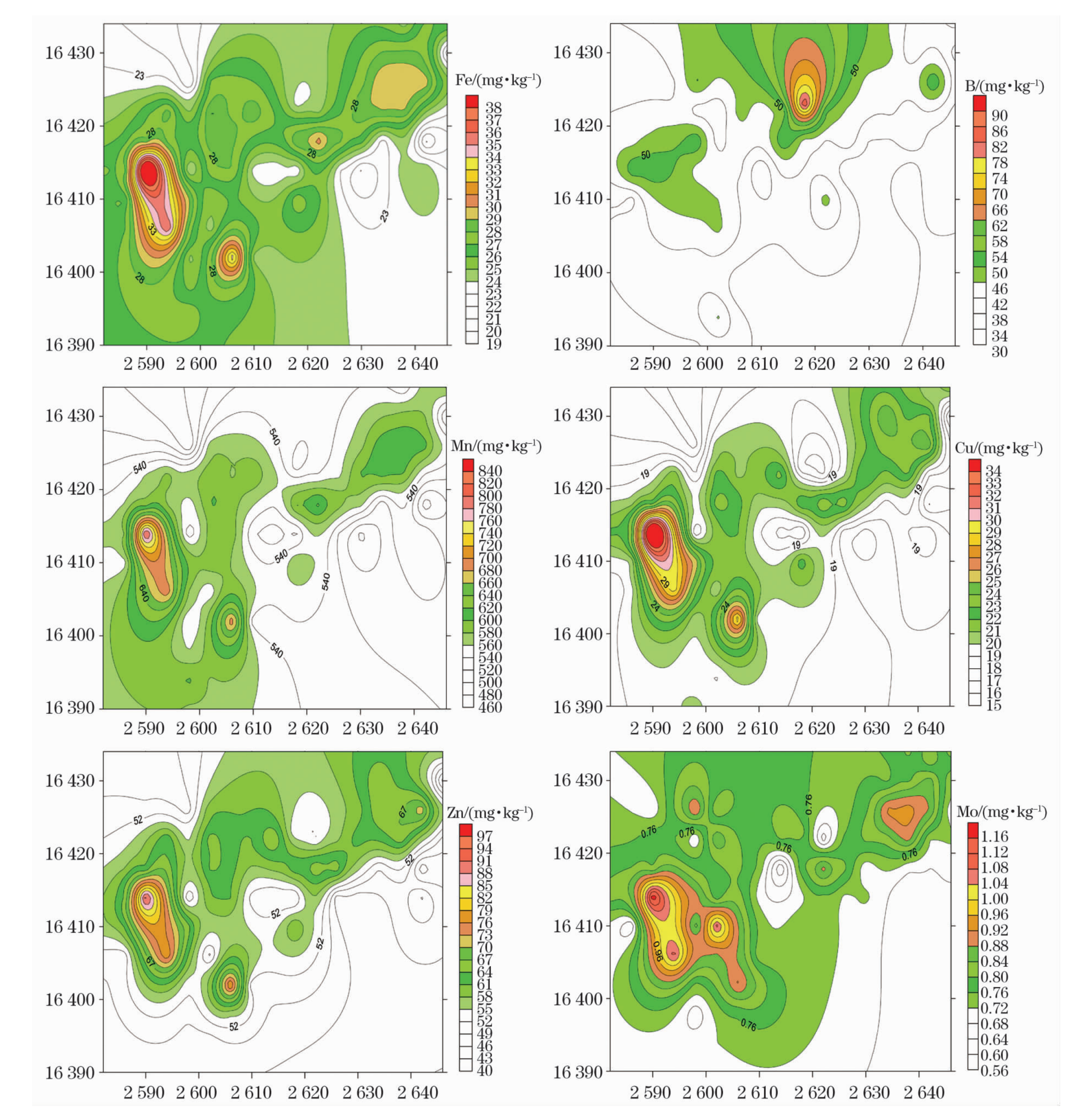


图 3 民丰县农田土壤微量营养元素含量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of trace elements in farmland soil in Minfeng County

表 5 民丰县农田土壤 pH、有机质与微量营养元素的相关性

Tab. 5 Correlation among organic matter content, pH values and trace elements in farmland soil in Minfeng County

	Fe	B	Mn	Cu	Zn	Mo	pH	有机质
Fe	1	0.169	0.975 **	0.938 **	0.906 **	0.598 **	-0.223 *	0.437 **
B		1	0.114	0.147	0.257 *	0.286 **	-0.174	0.318 **
Mn			1	0.917 **	0.849 **	0.600 **	-0.217 *	0.390 **
Cu				1	0.911 **	0.664 **	-0.167	0.385 **
Zn					1	0.612 **	-0.204	0.552 **
Mo						1	-0.163	0.240 **
pH							1	-0.167
有机质								1

注：* 代表在 0.05 水平上显著相关，** 代表在 0.01 水平上显著相关。

养元素的初始含量起到主导作用,成土过程及外源输入等复杂过程是影响微量营养元素空间分布、元素迁移等的重要因素[20]。民丰县农田土壤微量营养元素平均含量为丰富水平,总体上处于中等以上水平,和同一区域其他学者的研究结果[21]基本一致,这与研究区土壤中不同成土母质条件下形成的土壤中微量营养元素初始含量较高有关。

研究表明,pH 与土壤中的微生物活动、微量营养元素的有效性、有机质的合成与分解等均有密切关系,在很大程度上影响着土壤微量营养元素的含量水平[22-23]。但在本研究中,B、Cu、Zn、Mo 4 种微量营养元素的含量与 pH 的相关性均未达到显著水平。也许是由于影响土壤微量营养元素含量的因素较多,土壤 pH 从溶液中离子的组成、胶体上交换性离子的组成等方面对微量营养元素含量造成影响,其作用被其他主要影响因子所掩盖,故而不能展现在相关分析结果中[24]。土壤有机质是土壤肥力的物质基础,是植物生长所需氮、磷、钾以及其他微量营养元素的主要来源。在自然条件下,土壤有机质大部分来源于植被凋落物及其根系,并且植物根系、凋落物和土壤动物大多集中于表层土壤[25-26]。土壤有机质与 Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo 等 6 种微量营养元素呈显著正相关,表明土壤有机质是土壤肥力评价的关键因子。

4 结 论

(1) 研究区农田土壤 Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo 等 6 种微量营养元素均值、变幅差异较大。其中 Mn、Zn 元素的均值最大,Cu、Fe、B 元素的均值次之,Mo 元素的均值最小。Fe、B、Cu、Zn、Mo 等 5 种微量营养元素均表现出中等变异程度,Mn 元素的变异系数为 8.51%,属弱变异程度。农田土壤受自然因素和人为因素的影响,微量营养元素总体变异较大,且分布不均匀。根据全国第二次土壤普查养分分级标准可以看出,Fe、B、Zn 元素丰缺程度为较缺乏水平,Mn、Cu 元素丰缺程度为中等水平,Mo 元素丰缺程度为较丰富水平。

(2) 研究区农田土壤微量营养元素的半方差拟合最优模型中,Fe、B 元素用球状模型拟合较好,Mn、Mo 元素用高斯模型拟合较好,Cu、Zn 元素用指数模型拟合较好。土壤 Fe、Mn、Cu 元素具有中等程度的空间自相关性,空间变异同时受到自然因素和人类活动的影响;土壤 B、Zn、Mo 元素具有强烈的空间自相关性,空间变异主要受自然因素的影响。土壤微量营养元素含量的空间分布呈现出明显的片状和斑块状格局。研究区农田土壤 pH、有机质与 6 种微量营养元素之间存在一定程度的相关性,含量水平呈现相同的变化趋势。根据研究区微量营养元素含量现状以及土壤类型等因素,合理规划利用土地,调整相应耕作政策及施肥管理等措施,对防治生态退化,提高土壤肥力具有重要意义。

参考文献(References):

〔1〕 臧振峰,南忠仁,王胜利,等. 黑河中游绿洲农田土壤微量元素含量的空间分布特征〔J〕. 干旱区资源与环境,2013,27(5):190-195.〔Zang Zhenfeng, Nan Zhongren, Wang Shengli, et al. Spatial distribution characteristics of trace elements contents in oasis cropland soil in middle reaches of Heihe River〔J〕. Journal of Arid land Resources and Environment, 2013, 27(5):190-195.〕

〔2〕 张晓霞,李占斌,李鹏. 黄土高原草地土壤微量元素分布特征研究〔J〕. 水土保持学报,2010,24(5):45-48.〔Zhang Xiaoxia, Li Zhanbin, Li Peng. Study on distribution characteristics soil trace elements of grass land in the Loess Plateau〔J〕. Journal of Soil Water Conservation, 2010, 24(5):45-48.〕

〔3〕 张舒玄,聂欣,杜鹃,等. 不同微量元素叶面肥对草莓育苗生长的影响〔J〕. 土壤,2017,49(2):261-267.〔Zhang Shuxuan, Nie Xin, Du Juan, et al. Effects of different trace element fertilizers on strawberry seedling growth〔J〕. Soils, 2017, 49(2):261-267.〕

〔4〕 吴启,朱晓芳,沈仁芳. 硼促进缺铁条件下拟南芥根系细胞壁铁的再利用〔J〕. 植物营养与肥料学报,2019,28(1):1-12.〔Wu Qi, Zhu Xiaofang, Shen Renfang. Mechanism of boron facilitate root cell wall iron reutilization in iron deficient〔J〕. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 28(1):1-12.〕

〔5〕 郑璞帆,勾薇,陈富彩,等. 叶面喷施微量元素对烤烟光合特性、氮钾含量及产值的影响〔J〕. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(10):42-48.〔Zheng Pufan, Gou Wei, Chen Fucai, et al. Effect of trace element fertilizers on photosynthetic characteristics, nitrogen and potassium contents, output value of flue-cured tobacco〔J〕. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2017, 45(10):42-48.〕

〔6〕 李超. 硅、钼、硒及其配合喷施对几种蔬菜吸收、积累镉及蔬菜品质的影响〔D〕. 武汉:华中农业大学,2011.〔Li Chao. The Effect of Silicon, Molybdenum, Selenium and Their Complexes Spraying on Quality, Cadmium Update and Accumulation of Different Vegetables〔D〕. Wuhan: Huazhong Argicultural University, 2011.〕

〔7〕 张智,任意,鲁剑巍,等. 长江中游农田土壤微量养分空间分布特征〔J〕. 土壤学报,2016,53(6):1 489 – 1 496.〔Zhang Zhi, Ren Yi, Lu Jianwei, et al. Spatial distribution of micronutrients in farmland soils in the mid-reaches of the Yangtze River〔J〕. Acta Pedologica Sinica,2016,53(6):1 489 – 1 496.〕

〔8〕 周俊,牛怡,杨子凡,等. 甘州区农田耕层土壤微量元素分布空间变化研究〔J〕. 中国农学通报,2015,31(11):222 – 228.〔Zhou Jun, Niu Yi, Yang Zifan, et al. Spatial variability of soil trace elements distribution in cultivated field in Ganzhou district〔J〕. Chinese Agricultural Science Bulletin,2015,31(11):222 – 228.〕

〔9〕 中华人民共和国农业部种植业管理司. 到 2020 年化肥使用量零增长行动方案. 2015. http://www.m oa. gov. cn/〔Planting Industry Management Department, Ministry of Agriculture. Zero Growth in Synthetic Fertilizer Use by 2020. 2015. http://www. m oa. gov. cn/〕

〔10〕 董克鹏. 新疆民丰县地表水资源及可利用量计算研究〔J〕. 干旱环境监测,2017,31(3):113 – 118.〔Dong Kepeng. Study on calculation of surface water resources and available utilization in Minfeng County〔J〕. Arid Environmental Monitoring, 2017, 31(3):113 – 118.〕

〔11〕 叶家瑜,江宝林. 区域地球化学勘察样品分析方法〔M〕. 北京:地质出版社,2004.〔Ye Jiayu, Jiang Baolin. Sample Analysis method for Regional Geochemical Prospecting〔M〕. Beijing: Geological Publishing House,2004.〕

〔12〕 国家环境保护总局. 土壤环境监测技术规范:HJ/T166 – 2004〔S〕. 北京:中国环境科学出版社,2004.〔State Environmental Protection Administration of China. Technical Specification for Soil Environmental Monitoring: HJ/T166 – 2004〔S〕. Beijing: China Environmental Science Publishing House,2004.〕

〔13〕 丁一秀,谢荣辉,高安琪,等. 内蒙古西部地区土壤微生物数量及其土壤理化特性〔J〕. 干旱区研究,2017,34(6):1 294 – 1 303.〔Ding Yixiu, Xie Ronghui, Gao Anqi, et al. Quantity of soil microbes and soil physiochemical properties in West Inner Mongolia〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(6):1 294 – 1 303.〕

〔14〕 中华人民共和国国土资源部. 土地质量地球化学评价规范:DZ/T0295 – 2016〔S〕. 北京:地质出版社,2016.〔Ministry of National Defense of the People's Republic of China. Specificiation of Land Quality Geochemical Assessment. DZ/T0295 – 2016〔S〕. Beijing: Geological Press,2016.〕

〔15〕 未红红,杨浩然,刘会玲,等. 河北省麻山药种植区土壤重金属元素空间分布特征〔J〕. 水土保持通报,2015,35(5):227 – 231.〔Wei Honghong, Yang Haoran, Liu Huiling, et al. Spatial variation of heavy mentals in *Dioscorea opposite* thumb. planted areas of Hebei Province〔J〕. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015,35(5):227 – 231.〕

〔16〕 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等. 耕地质量的概念和评价与管理对策〔J〕. 土壤学报,2012,49(6):1 210 – 1 217.〔Shen Renfang, Chen Meijun, Kong Xiangbin, et al. Conception and evaluation of quality of arable land and strategies for its management〔J〕. Acta Pedologica Sinica,2012,49(6):1 210 – 1 217.〕

〔17〕 刘凯,高磊,彭新华,等. 半干旱区科尔沁沙地土壤水分时空特征研究〔J〕. 土壤,2015,47(4):765 – 772.〔Liukai, Gao Lei, Peng Xinhua, et al. Spatio-temporal variability of soil moisture in Horqin Sandy Land〔J〕. Soils,2015,47(4):765 – 772.〕

〔18〕 徐烨,邓艳,曹建华,等. 云南小江流域不同土地利用类型土壤微量元素的对比分析〔J〕. 中国岩溶,2018,37(5):752 – 760.〔Xu Ye, Deng Yan, Cao Jianhua, et al. Comparative analysis of soil trace elements in different land use types in Xiaojiang river basin, Yunnan〔J〕. Carsologica Cinica,2018,37(5):752 – 760.〕

〔19〕 李海峰,曾凡江,桂东伟,等. 不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征〔J〕. 生态学报,2012,32(6):1 803 – 1 810.〔Li Haifeng, Zeng Fanjiang, Gui Dongwei, et al. The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(6):1 803 – 1 810.〕

〔20〕 孟霖,宋文静,王程栋,等. 贵州中部山区植烟土壤微量元素分布特征〔J〕. 中国烟草科学,2015,36(3):57 – 62.〔Meng Lin, Song Wenjing, Wang Chengdong, et al. The distribution of microelement contents of tobacco-growing fields in the central region of Guizhou Province〔J〕. Chinese Tobacco Science,2015,36(3):57 – 62.〕

〔21〕 曾妍妍,周金龙,王松涛,等. 新疆民丰县中部地区土壤微量营养元素空间分布特征〔J〕. 干旱区资源与环境,2018,32(7):76 – 81.〔Zeng Yanyan, Zhou Jinlong, Wang Songtao, et al. The spatial distribution characteristics of soils micronutrients in central region of Minfeng county, Xinjiang〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2018,32(7):76 – 81.〕

〔22〕 刘贤德,赵维俊,张学龙,等. 祁连山排露沟流域青海云杉林土壤养分和 pH 变化特征〔J〕. 干旱区研究,2013,30(6):1 013 – 1 020.〔Liu Xiande, Zhao Weijun, Zhang Xuelong, et al. Variation of soil nutrient content and pH value under *Picea crassifolia* forest in the Pailugou Drainage basin in the Qilian Mountains〔J〕. Arid Zone Research,2013,30(6):1 013 – 1 020.〕

〔23〕 潘永敏,华明,廖启林,等. 宜兴地区土壤 pH 值的分布特征及时空变化〔J〕. 物探与化探,2018,42(4):825 – 832.〔Pan Yongmin, Hua Ming, Liao Qilin, et al. Distribution properties and time-series comparisons of soil pH-values in Yixing area〔J〕. Geophysical and Geochemical,2018,42(4):825 – 832.〕

〔24〕 董国涛,张爱娟,罗格平,等. 三工河流域绿洲土壤微量元素有效含量特征分析〔J〕. 土壤,2009,41(5):726 – 732.〔Dong Guotao, Zhang Aijuan, Luo Geping, et al. Study on contents of available trace elements in oasis soil of Sangong River Watershed〔J〕. Soils,2009,41(5):726 – 732.〕

〔25〕 张红桔,马闪闪,赵科理,等. 山核桃林地土壤肥力状况及其空间分布特征〔J〕. 浙江农林大学学报,2018,35(4):664 – 673.〔Zhang Hongju, Ma Shanshan, Zhao Keli, et al. Soil fertility and its spatial distribution for *Carya cathayensis* stands in Lin'an, Zhejiang Province〔J〕. Journal of Zhejiang A & F University,2018,35(4):664 – 673.〕

〔26〕陈琳,任春颖,王宗明,等.基于克里金插值的耕地表层土壤有机质空间预测〔J〕.干旱区研究,2017,34(4):798－805.〔Chen Lin,Ren Chunying,Wang Zongming,et al. Prediction of spatial distribution of topsoil organic matter content in cultivated land using Kriging methods〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(4):798－805.〕

Content and Distribution of Trace Elements in Farmland Soil in Minfeng County, Xinjiang

GU Si-bo[1,2], ZHOU Jin-long[1,2], ZENG Yan-yan[1,2], CHEN Yun-fei[1,2], WANG Song-tao[3], DU Jiang-yan[3]

(1. *College of Water Conservancy and Civil Engineering*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *Xinjiang*, *China*;
2. *Xinjiang Center for Hydrology and Water Resources Engineering Research*, *Urumqi* 830052, *Xinjiang*, *China*;
3. *No. 2 Hydrogeology and Engineering Geology Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development*, *Changji* 831100, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: In this study, the geostatistics method was used to analyze the content level of the essential micronutrient elements in farmland soil in Minfeng County, Xinjiang based on the test data of six micronutrients (Fe, B, Mn, Cu, Zn and Mo) in 85 farmland topsoil samples in the study area. The results showed that the nugget coefficients of Cu, Fe and Mn ranged from 25% to 75% with a spatial autocorrelation at moderate level, and the spatial variation was affected by both natural and artificial factors. The nugget coefficients of B, Zn and Mo in soil were lower than 25% with a high spatial autocorrelation, and the spatial variation was mainly affected by the natural conditions, such as the parent material and climate. The average contents of Fe, B and Zn were low, those of Mn and Cu were moderate, and the average content of Mo was high. There was a certain correlation among the six micronutrients in soil in the study area. The contents of soil micronutrients were affected by soil organic matter content and pH value to varying degrees.

Key words: farmland soil; micronutrient; geostatistics; Minfeng County; Xinjiang